5Б

УДК 519.876.2:629.735.072.8:004(045)

С.П. Борсук
Національний авіаційний університет, Україна
Україна, 03058, м. Київ, пр. космонавта Комарова 1

Складові стохастичних показників навченості для чотирьох режимів роботи авіаційного оператора

S.P. Borsuk
National Aviation University, Ukraine
Ukraine, 03058, c. Kyiv, Kosmonavta Komarova 1

Components of Stochastic Tuition Indexes for Four Working Modes of Aviation Operator

С.П. Борсук
Национальный авиационный университет, Украина
Украина, 03058, г. Киев, пр. космонавта Комарова 1

Составляющие стохастических показателей обученности для четырёх режимов работы авиационного оператора

У статті показано відмінності реального процесу навчання від існуючих моделей, що враховують експоненційне зростання рівня знань. Розглянуто процес опанування знань, вмінь та навичок як стохастичний процес, представлено стохастичний показник навченості як результат опанування знань. Виділено три складові показника навченості для чотирьох режимів роботи авіаційних операторів. Проаналізовано динаміку змін постійних особистих властивостей оператора та зроблено висновки щодо різниці у таких властивостях у різних режимах роботи.
Ключові слова: авіаційні оператори, стаціонарні стохастичні моделі підготовки, тренування на тренажерах, режими роботи оператора, постійні особисті властивості оператора.

Difference of real education process from existing models that takes into account exponential knowledge level growth is shown. Knowledge, abilities and skills mastering process is shown as stochastic one. Stochastic tuition index is presented as result of knowledge mastering. Three components of tuition index are separated for four aviation operators working modes. Changes dynamics of constant personal operator features was analyzed and conclusions on difference related to different operator working modes were made.
Key words: aviation operators, stationary stochastic training models, on-simulators training, operator working modes, operator personal features.

В статье показаны отличия реального процесса обучения от существующих моделей, которые учитывают экспоненциальный рост уровня знаний. Рассмотрен процесс овладения знаниями, умениями и навыками как стохастический процесс, представлен стохастический показатель обученности как результат овладения знаниями. Выделено три составляющих показателя обученности для четырёх режимов работы авиационных операторов. Проанализирована динамика изменения постоянных личностных особенностей оператора и сделаны выводы относительно разницы в таких особенностях на разных режимах работы.
Ключевые слова: авиационные операторы, стационарные стохастические модели подготовки, тренировка на тренажёрах, режимы работы оператора, постоянные личностные свойства оператора.

Вступ

Як відомо із попередніх досліджень [1], [2], в ідеальному випадку крива, що описує кількість опанованих знань, вмінь та навичок (ЗВН), із часом набуває експоненційну природу (рис. 1).

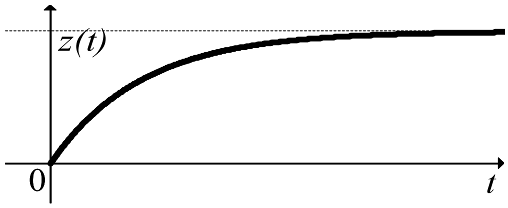


Рисунок 1 – Ідеальна крива навчання

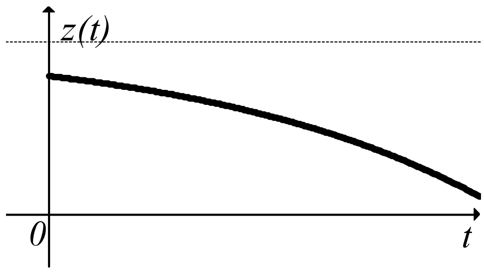
На початку процесу навчання або тренування за одиницю навчального часу авіаційний оператор (АО) опановує велику кількість ЗВН.

Чим більше суцільна кількість витраченого навчального часу – тим менше ЗВН буде опановано АО за одиницю навчального часу. У загальному випадку ця залежність описується формулою

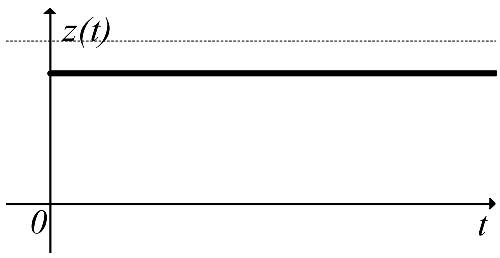
$$x(t) = x^{\infty} + \left(x^{0} - x^{\infty}\right)e^{-\gamma t};\ (t > 0),$$

де t – час навчання, $x(t)$ – показник навченості, x^{0} – показник початкової навченості x^{∞} – показник кінцевої (бажаної) навченості, γ – константа, що визначає швидкість навчання.

При $\gamma > 0$ відбувається процес навчання, при $\gamma < 0$ процес навчання набуває негативної динаміки та перетворюється у процес забування (рис. 2а), при $\gamma = 0$ рівень ЗВН зберігається сталим (рис. 2б).



а) $\gamma < 0$



б) $\gamma = 0$

Рисунок 2 – Показник процесу навчання при $\gamma < 0$ та $\gamma = 0$

На відміну від теорії, у реальному процесі навчання завжди є непередбачувана частина показника навченості, зумовлена особистими властивостями АО, його досвідом, його емоційним станом та іншими параметрами, які можна віднести до ергономічних [3].

Таким чином, хоча загальний вигляд функції, що описує зміну показника навченості для кожного АО, буде єдиним, кожна часткова її реалізація буде відрізнятись.

Такі дані найкраще описуються стохастичними стаціонарними моделями із сталим середнім значенням [4-6].

Актуальність та постановка задачі

Моделювання процесу навчання, тренування, опанування та відтворення ЗВН проводиться багатьма способами та достатньо вивчене. Проте, незважаючи на наявність стохастичних методів моделювання [7], [8], у них не проводиться глибокий аналіз складових елементів показника навченості. Як результат, не розрізняються суто стохастичні та детерміновані складові показника навченості, не проводиться їх аналіз, який дозволить розподілити АО за складовими їх показників навченості на групи та розробити рекомендації щодо планування процесу навчання для груп та кожного АО окремо, покращуючи ефективність цього процесу із плином часу та накопиченням статистичних даних. Це питання завжди є актуальним, оскільки технічно тренажери та системи навчання постійно змінюються, вимагаючи нових методологічних та алгоритмічних розробок.

Таким чином виявлення зазначених складових, їх математичний опис та аналіз і є **метою даної статті**.

Результати досліджень

Як відомо, показники стаціонарного стохастичного процесу можна подати у вигляді

$$z_t = \mu + \Delta_t ,$$

де z_t – показник процесу, μ – постійний середній рівень, Δ_t – випадкове відхилення процесу у час t. В ідеальному випадку при $\mu = 0$ маємо

$$\sum_{t \to \infty} \Delta_t = 0 .$$

Якщо прийняти, що функція $x(t)$ відповідає ідеальній зростаючій експоненті з рис. 1, то можна увести нормований показник процесу $\hat{z}_t = z_t x(t)$. Тоді стаціонарний стохастичний процес відносно надбання знань із нормованим показником набуває вигляду

$$\hat{z}_t = \frac{\mu}{x(t)} + \frac{\Delta_t}{x(t)} .$$

Відомо, що μ є незмінним середнім рівнем стохастичного процесу. Для суто детермінованого процесу без випадкової складової нормований середній рівень $\mu = x(t)$. Тоді показник нормованого стаціонарного стохастичного процесу дорівнює

$$\hat{z}_t = 1 + \frac{\Delta_t}{x(t)} ,$$

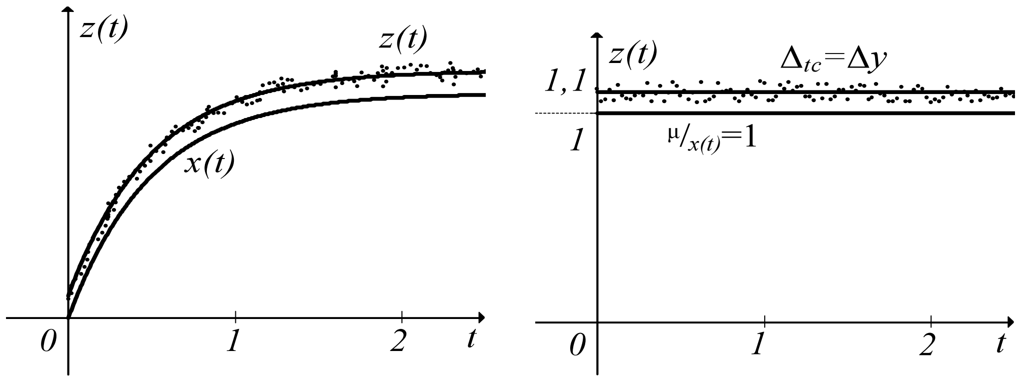
тобто описує стаціонарний стохастичний процес відносно середнього рівня 1.

У випадку $\mu = x(t)$ вважається, що АО демонструє рівень опанування навиків, що описується ідеальним експоненційним законом. У реальному тренуванні усі АО мають особисті риси, що вносять зміни у значення μ. Ці риси акумулюються у випадкове відхилення процесу Δ_t та самі по собі можуть біти розподілені на дві складові $\Delta_t = \Delta_{tc} + \Delta_{tv}$. Перша складова – це показник постійних особистих властивостей (ПОВ) АО, друга складова – це дійсне відхилення випадкової величини.

Показник нормованого стаціонарного стохастичного процесу у такому випадку приймає вигляд

$$\hat{z}_t = 1 + \frac{\Delta_{tc}}{x(t)} + \frac{\Delta_{tv}}{x(t)}.$$

Графічно три складові графіків нормованого та ненормованого показників процесу навчання показано на рис. 3 (за базову функцію узята експоненціальна).



а) б)

Рисунок 3 – Графіки показників процесу навчання: а) ненормований, б) нормований

На графіках лініями показано детерміновані складові показника процесу навчання $x(t)$ та $x(t)+\Delta_{tc}$, а точками показано реальні значення z_t.

Як витікає з даних праці [9] в процесі професійної підготовки і діяльності АО послідовно проходять чотири стадії, що ілюструє рис. 4.

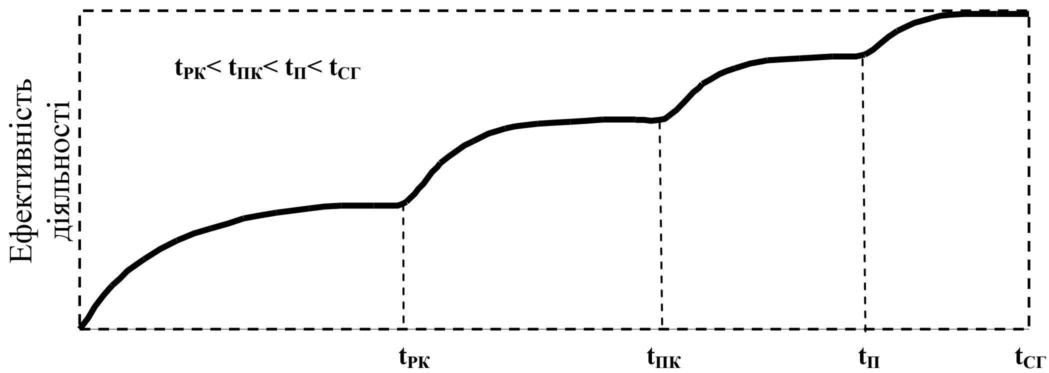


Рисунок 4 – Трансформація професійних ЗВН в процесі тренувань: $t_{РК}$ – час, потрібний для досягнення рівня праці у режимі компенсації; $t_{ПК}$ – переслідування з компенсацією; $t_{П}$ – оптимального передбачення; $t_{СГ}$ – провіщення (синхронного генератора)

Згідно з моделлю, представленою на рис. 4, для кожного етапу функція показника стаціонарного стохастичного процесу може відрізнятися. Позначимо показники чотирьох режимів як z_{1t}, z_{2t}, z_{3t}, z_{4t}, а відповідні нормовані показники як $\hat{z}_{1t}$, $\hat{z}_{2t}$, $\hat{z}_{3t}$, $\hat{z}_{4t}$.

Тоді узагальнений показник нормованого стаціонарного стохастичного процесу $\hat{Z}_t$, відповідно до моделі із чотирма режимами, можна описати наступним чином:

$$\hat{Z}_t = \begin{cases} \hat{z}_{1t};\ \tau < t_{РК} \\ \hat{z}_{2t};\ t_{РК} < \tau < t_{ПК} \\ \hat{z}_{3t};\ t_{ПК} < \tau < t_{П} \\ \hat{z}_{4t};\ t_{П} < \tau < t_{СГ} \end{cases},$$

де τ – поточний момент часу. Кожен із нормованих показників у свою чергу розподіляється на три складові. Позначимо показники ПОВ АО як $\Delta_{1tc}, \Delta_{2tc}, \Delta_{3tc}, \Delta_{4tc}$, а дійсні відхилення випадкової величини як $\Delta_{1tv}, \Delta_{2tv}, \Delta_{3tv}, \Delta_{4tv}$. $\hat{Z}_t$ приймає вигляд

$$\hat{Z}_t = \begin{cases} 1 + \frac{\Delta_{1tc}}{x(t)} + \frac{\Delta_{1tv}}{x(t)};\ \tau < t_{РК} \\ 1 + \frac{\Delta_{2tc}}{x(t)} + \frac{\Delta_{2tv}}{x(t)};\ t_{РК} < \tau < t_{ПК} \\ 1 + \frac{\Delta_{3tc}}{x(t)} + \frac{\Delta_{3tv}}{x(t)};\ t_{ПК} < \tau < t_{П} \\ 1 + \frac{\Delta_{4tc}}{x(t)} + \frac{\Delta_{4tv}}{x(t)};\ t_{П} < \tau < t_{СГ} \end{cases}.$$

Функція $x(t)$ лишається однаковою для усіх трьох режимів за припущення ідеальної експоненти як базової функції для усіх режимів. Враховуючи, що різні режими можуть мати різні базові функції, позначимо їх як $x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)$. Тоді $\hat{Z}_t$ приймає вигляд

$$\hat{Z}_t = \begin{cases} 1 + \frac{\Delta_{1tc}}{x_1(t)} + \frac{\Delta_{1tv}}{x_1(t)};\ \tau < t_{РК} \\ 1 + \frac{\Delta_{2tc}}{x_2(t)} + \frac{\Delta_{2tv}}{x_2(t)};\ t_{РК} < \tau < t_{ПК} \\ 1 + \frac{\Delta_{3tc}}{x_3(t)} + \frac{\Delta_{3tv}}{x_3(t)};\ t_{ПК} < \tau < t_{П} \\ 1 + \frac{\Delta_{4tc}}{x_4(t)} + \frac{\Delta_{4tv}}{x_4(t)};\ t_{П} < \tau < t_{СГ} \end{cases}.$$

Відповідні додатки $\frac{\mu}{x(t)}$ дорівнюють одиниці у кожному випадку, оскільки значення μ залишаються детермінованими для кожного режиму роботи АО.

Для окремого АО зміна режиму у роботі може мати різноманітні наслідки з точки зору його ефективності. Проведення аналізу таких змін найкраще виконувати,

спираючись на детерміновані складові показника нормованого стаціонарного стохастичного процесу. Одна з детермінованих складових – це сукупність функцій $x(t)$, які безпосередньо дорівнюють постійному середньому рівню μ, але їх використання дозволить тільки визначити, за яким саме ідеальним законом відтворюються ненормовані криві показника процесу навчання у кожному режимі. Інша детермінована складова – це Δ_{tc}, показник ПОВ АО, який змінюється відповідно реагуючи на особливості роботи АО.

Розглянемо перехід від режиму компенсації до режиму переслідування з компенсацією. Цей перехід характеризується зміною даних, що надаються АО. Якщо у першому режимі він отримував тільки відхилення контрольованої величини Δd, то вже у другому режимі він працює із двома додатковими параметрами d_1, d_2, такими, що $d_1 - d_2 = \Delta d$. Отже інформаційне навантаження зростає, що може призвести як до зміни базової функції навчання, так і до зміни показника особистих властивостей. Подальший перехід до режимів оптимального передбачення та провіщення також збільшує кількість інформації, отриманої АО. Причому, починаючи з режиму оптимального передбачення, отримана інформація ускладнюється не тільки кількісно, але й якісно. При переході до третього режиму вона починає частково набувати ймовірнісних характеристик, а при переході до четвертого режиму у склад наявної інформації вводяться правила, які не можна напряму вивести зі спостережень за контрольованою величиною.

Розглянемо випадок, коли базова функція залишається сталою, а показники особистих властивостей можуть змінюватись. Для зручності відкинемо дійсне відхилення випадкової величини та позначимо $\Delta^x_{1tc} = \dfrac{\Delta_{1tc}}{x_1(t)}$. Тоді необхідно порівняти чотири параметри $\Delta^x_{1tc}, \Delta^x_{2tc}, \Delta^x_{3tc}, \Delta^x_{4tc}$.

Розглянемо найпростіший випадок, коли $\Delta^x_{1tc} = \Delta^x_{2tc} = \Delta^x_{3tc} = \Delta^x_{4tc} = const = c$. Очевидно, що у такому випадку АО демонструє однакові особисті властивості у кожному режимі. Як результат, такий АО вважається стабільним, та залежно від значення c визначається його здатність до навчання. У випадку $c > 1$ АО має підвищену здатність, у випадку $c < 1$ АО має понижену здатність. Графічно описаний випадок представлено на рис. 5.

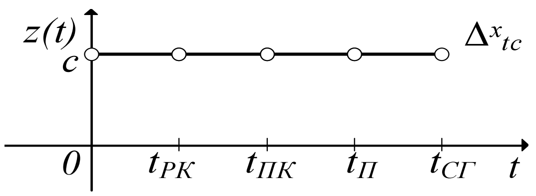


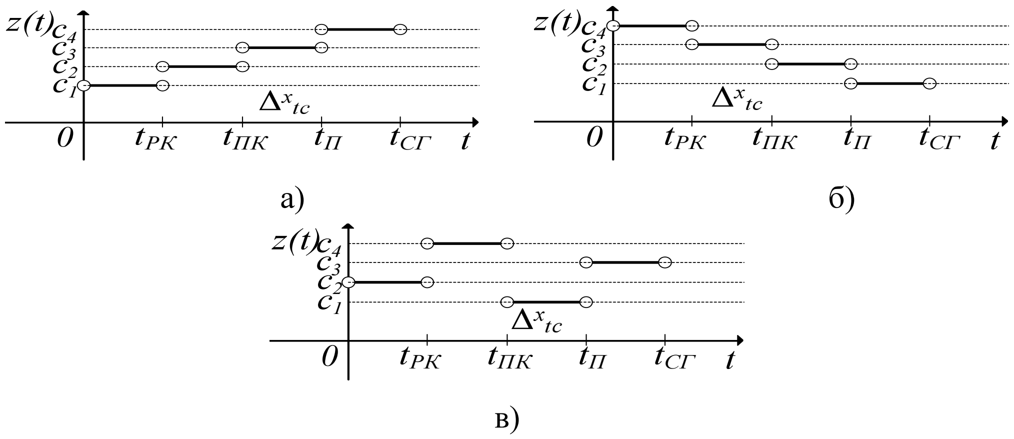
Рисунок 5 – Графік порівняння показника ПОВ стабільного АО для різних режимів

В ускладненому випадку із зміною констант відповідають вирази

$$\Delta^x_{1tc} = c_1,\ \Delta^x_{2tc} = c_2,\ \Delta^x_{3tc} = c_3,\ \Delta^x_{4tc} = c_4,\ (c_1 = const,\ c_2 = const,\ c_3 = const,\ c_4 = const).$$

У даному випадку АО демонструє різні особисті властивості у кожному режимі. Здатність такого АО до навчання нестабільна і подальші висновки залежать від значень c. Якщо $c_i < c_{i+1}, (\forall i)$, то АО нестабільно покращує результати. Якщо

$c_i > c_{i+1}, (\forall i)$, то АО із кожним нестабільно погіршує результати. У будь-якому ін.-шому випадку додаткові висновки залежать від детального аналізу його результатів. Графічно описаний випадок представлено на рис. 6.



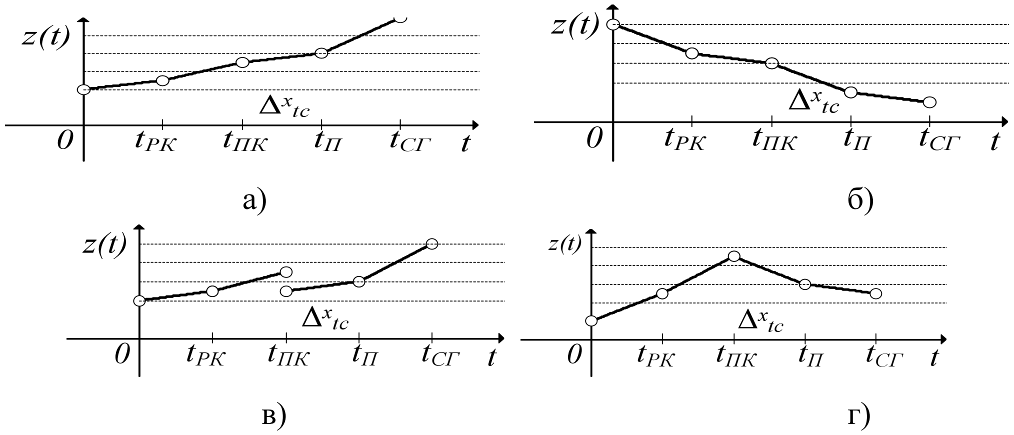
а) б)

в)

Рисунок 6 – Порівняння показників ПОВ нестабільного АО для різних режимів: а) нестабільне покращення; б) нестабільне погіршення; в) нестабільна невизначеність

Наступне ускладнення моделі – зміна сталого значення на лінійну функцію $f(t)$. Тоді $\Delta^x_{1tc} = f_1(t), \Delta^x_{2tc} = f_2(t), \Delta^x_{3tc} = f_3(t), \Delta^x_{4tc} = f_4(t)$. При наявності лінійної функції когнітивні властивості АО змінюються із плином часу в межах кожного охопленого режиму. Здатність такого АО до навчання нестабільна і подальші висновки залежать від динаміки $f(t)$.

Якщо $f_1(t) < f_1(t+1), (\forall t)$, і одночасно $f_i(t) < f_{i+1}(t), (\forall i, t)$, то АО постійно покращує результати. Навпаки при $f_1(t) > f_1(t+1), (\forall t)$ і одночасно $f_i(t) > f_{i+1}(t), (\forall i, t)$, то АО постійно погіршує результати. Якщо $f_1(t) < f_1(t+1), (\forall t)$ і одночасно $\exists i, t_1, t_2 : f_i(t_1) > f_{i+1}(t_2)$, то має місце точка різкого падіння демонстрованого рівня ПОВ АО при переході до нового режиму із подальшим зростанням. Якщо $\exists I$ таке, що $\forall i < I : f_{i-1}(t_1) < f_i(t_1+1), f_i(t_2) > f_{i+1}(t_2+1), (\forall t_1, t_2)$, то присутня точка зміни динаміки демонстрованого рівня ПОВ АО, до якої його показники зростали, а після якої його показники почали спадати. Графічно описаний випадок представлено на рис. 7.



а) б)

в) г)

Рисунок 7 – Порівняння показників ПОВ АО для різних режимів із лінійним законом їх зміни: а) постійне покращення; б) постійне погіршення; в) із точкою тимчасового погіршення; г) із точкою постійного погіршення

Заміна лінійних функцій $f(t)$ на нелінійні принципово не вплине на графічні відображення моделі. Кожний граф можна буде розбити на складові типу точок розривів, перегину та постійно зростаючого або спадаючого проміжків.

Спираючись на динаміку ПОВ АО, можна відпрацювати рекомендації, щодо програми їх тренувань. Наприклад, для моделі з рис. 5, 6а, 7а та 7в рекомендувати залишити навчальну програму без змін; для рис. 6б та 7б рекомендовано зменшити темп та збільшити кількість часу для опанування ЗВН; для рис. 6в та 7г рекомендовано виділити ті режими, у яких АО демонстрував найгірші результати, та приділити більше уваги тим завданням, які АО має виконувати у цих режимах. Типові рекомендації для кожного АО також можуть враховувати – які саме ЗВН він опанував під час роботи у кожному з режимів, як пов'язані між собою опановані ЗВН, якою була форма базової функції навчання, тощо.

Висновки

Згідно з отриманими результатами (графік показників постійних особистих властивостей стабільного АО, графік показників постійних особистих властивостей нестабільного АО, графік показників змінних особистих властивостей АО), які вперше формально описують складові показника навченості для чотирьох режимів роботи АО, можна стверджувати, що АО із різними показниками динаміки ПОВ мають отримувати відкориговані навчальні програми. Зазвичай зміна навчальних програм ускладнюється обмеженим часом, призначеним для опанування включених до програми ЗВН, але навіть к випадку неможливості внесення змін у саму програму, низка АО може бути допущеною до подальшого навчання або роботи із врахуванням особливостей їх динаміки ПОВ у різних режимах.

Література

1. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения / Новиков Д.А. – М. : ИПУ РАН, 1998.
2. Введение в эргономику / [Зараковский Г.М., Королев Б.А., Медведев В.И., Шлаен П.Я.]; под ред. В.П. Зинченко. – М. : Советскоерадио, 1974. – 352 с.
3. Эргономика : [учебник] / [под ред. Крылова А.А., Суходольского Г.В]. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. – 184 с.
4. Адомиан Дж. Стохастические системы: научное издание / Адомиан Дж. – М. : Мир, 1987. – 376 с.
5. Бокс Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление: / Дж. Бокс, Г. Дженкинс ; [под ред. В.Ф. Писаренко ; пер. с англ.]. – М. : Мир, 1974. – Кн. 1. – 406 с.
6. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках / Гардинер К.В. – М. : Мир, 1986. – 526 с.
7. Буш Р. Стохастические модели обучаемости / Р. Буш, Ф. Мостеллер. – М. : Физматгиз, 1962. – 483 с.
8. Эстес В.К. Статические модели способностей человека-наблюдателя вспоминать и опознавать возбуждающие ответы / В.К. Эстес // Самоорганизующиеся системы. – М., 1964. – С. 50-64.
9. Шеридан Т.Б. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором / Т.Б. Шеридан, У.Р. Феррел ; [под ред. К.В. Фролова ; пер. с англ.]. – М. : Машиностроение, 1980. – 400 с.

Literatura

1. Novikov D.A. Zakonomernosti iterativnogo nauchenija / Novikov D.A. – M.: IPU RAN, 1998.
2. Vvedenie v jergonomiku / [Zarakovskij G.M., Korolev B.A., Medvedev V.I., Shlaen P.Ja.]; pod red. V.P Zinchenko. – M.: Sovetskoeradio, 1974. – 352 s.
3. Jergonomika: Uchebnik / [pod red. Krylova A.A., Suhodol'skogo G.V]. – L.: Izd-vo Leningr. un-ta. 1988. – 184 s.
4. Adomian Dzh. Stohasticheskie sistemy: nauchnoe izdanie / Adomian Dzh. – M.: Mir, 1987. – 376 s.
5. Boks Dzh. Analiz vremennyh rjadov, prognoz i upravlenie: Per. s angl. / Boks Dzh. Dzhenkins G. [Pod red. V.F. Pisarenko]. – M. : Mir, 1974, kn. 1. – 406 s.

6. Gardiner K.V. Stohasticheskie metody v estestvennyh naukah / Gardiner K.V. – M.: Mir, 1986. – 526 c.
7. Bush R. Stohasticheskie modeli obuchaemosti / Bush R., Mosteller F. – M.: Fizmatgiz, 1962. – 483 s.
8. Jestes V.K. Staticheskie modeli sposobnostej cheloveka-nabljudatelja vspominat' i opoznavat' vozbuzhdajushhie otvety / Jestes V.K. // Samoorganizujushhiesja sistemy. – M., 1964. – S. 50-64.
9. Sheridan T.B. Sistemy chelovek-mashina: Modeli obrabotki informacii, upravlenija i prinjatija reshenij chelovekom-operatorom: per.s angl. / Sheridan T.B., Ferrel U.R.; pod red. K.V. Frolova. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 400 s

RESUME

S.P. Borsuk

Components of Stochastic Tuition Indexes for Four Working Modes of Aviation Operator

Dynamics of operators knowledge level change, presented as sole exponential type tuition index, is shown in the article. Base for stationary stochastic function use to describe operator’s tuition index is given.

Index is proposed to be divided into three components, two of which are deterministic type and last one is of stochastic type. Charts of all components that influence upon general level of tuition index are given.

Operator four working modes are presented with corresponding three components of tuition indexes for every mode. Each indexes component’s role in general operator’s education process is shown. Normalization of constant personal operator features index is described.

Example of constant personal operator features indexes for two neighbor working modes comparison is given. Basing on the results of comparison set of recommendations about operators further work is proposed. Stable and unstable operator indexes comparison are shown both graphical and analythical.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2013.